



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**VLIV SEDIMENTŮ NA HYDROLOGICKÉ PODMÍNKY
TOKU**

SEDIMENT IMPACT ON RIVER HYDROLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Stanislav Winkler

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Stanislav Winkler
Název	Vliv sedimentů na hydrologické podmínky toku
Vedoucí práce	Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Habersack H., Haimann M., Kerschbaumsteiner W., Lalk P., Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, Wien, 2017.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem bakalářské práce je seznámení se s problematikou měření sedimentů v říčním korytě. Vytvořit přehled možných způsobů monitoringu sedimentů v tocích a popsat možnou vazbu sedimentů na průtoky v toku. Podkladem zpracování práce bude příručka měření sedimentů Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes zpracovaná kolektivem autorů na BOKU Vídeň.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou sedimentů a jejich vlivu na hydrologii v tocích. Práce může sloužit jako příručka pro zajištění teoretických znalostí v oblasti sedimentů, způsobu jejich měření a strategie monitorování. Jako výchozí materiál byla použita metodika měření z university BOKU Vídeň. Jejich mnohaleté zkušenosti a poznatky v oblasti měření sedimentů jsou neocenitelné a budou použity při projektu SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT – CZ financovaného pomocí INTERREG AT – CZ.

Klíčová slova

Sediment, ADCP s odběrem vzorků, integrační extrakce, vícebodová extrakce, metodika, strategie monitorování.

Abstract

The bachelor's thesis analyze sediments and their impact on hydrology in rivers. This thesis can be used as guide providing necessary theoretic knowledge about methods of measuring sediments and monitoring strategy. As default material have been used methodology for measurement from university BOKU Wien. Their long – standing experience and knowledge in sediment measurement sphere are inestimable and going to be used in project SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT – CZ border region financed through INTERREG AT – CZ.

Key word

Sediment, ADCP and water sampler, integration extraction, multi – point extraction, methodology, monitoring strategy.

Bibliografická citace

Stanislav Winkler *Vliv sedimentů na hydrologické podmínky toku*. Brno, 2018. 42 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2018

Stanislav Winkler

autor práce

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doktoru Danielu Martonovi za ochotu a vstřícnost, kterou mi poskytoval po celou dobu práce. Za jeho odborné vedení, věcné připomínky a přátelský přístup.

Dále bych chtěl poděkovat docentu Zachovalovi za poskytnutí přednášek a doporučení, která mi umožnila lépe chápat problematiku a zkompletovat tuto práci.

V neposlední řadě děkuji svým blízkým za podporu.

V Brně dne 22. 5. 2018

Stanislav Winkler

autor práce

Obsah

1	ÚVOD	3
2	CÍL PRÁCE	4
3	UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY	5
4	METODIKA A STRATEGIE MONITOROVÁNÍ.....	7
4.1	Základní fyzikální podmínky a problémy při zachycení suspendovaných látek	7
	8
4.2	Metody zaznamenávání časové variability koncentrace suspendovaných látek	8
4.2.1	Postupy přímého odběru vzorků	8
4.2.2	Nepřímé postupy	8
4.3	Metody zaznamenávání prostorové variability koncentrace nerozpustných látek v průřezu	9
4.3.1	Postupy přímého odběru vzorků	9
4.3.2	Nepřímé postupy	10
4.4	Požadavky na zařízení pro detekci koncentrace suspendovaných látek	13
4.4.1	Požadavky na zařízení pro přímý odběr vzorků	13
4.4.2	Požadavky na zařízení pro nepřímou detekci koncentrace suspendovaných látek	13
4.5	Požadavky na laboratorní vyhodnocení vzorků suspendovaných látek	14
4.6	Rozdělení velikosti zrna	14
4.7	Monitorovací strategie.....	14
4.8	Zvláštní případy	15
5	POPIS MĚŘENÍ.....	16
5.1	Umístění měřících bodů	16
5.1.1	Měřící body v rozsahu průtoku.....	16
5.1.2	Body pro měření v oblasti jezových elektráren	16
5.2	Kontinuální měření.....	16
5.3	Kontinuální nahrávání sondy	18
5.3.1	Záznam dat a přenos dat	18
5.3.2	Bioznečištění.....	18
5.3.3	Údržba a servis.....	20
5.4	Kalibrace.....	20
5.5	Stanovení prostorové distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu	20
5.5.1	Vícebodové vzorkování.....	21

5.5.2	Integrační extrakce	22
5.5.3	ADCP s odběrem vzorků	26
5.5.4	Porovnání různých postupů	27
ZÁVĚR		28
Seznam použité literatury		29
Seznam pojmů a zkratk		30
Seznam obrázků		33
Seznam tabulek		34
6	SUMMARY	35

1 ÚVOD

Nedílnou částí vody jsou splaveniny, které se vlivem proudění vody přesouvají ve všech tocích, ale i inženýrských sítích, odvodňovacích a zavlažovacích kanálech. Můžeme se s nimi setkat v rámci celého oboru vodního hospodářství. Vlivem příznivých hydraulických podmínek pro usazování mohou splaveniny sedimentovat.

Splaveniny, potažmo sedimenty, můžou negativně omezovat funkčnost a snížit bezpečnost vodohospodářských konstrukcí. Příkladem je porušení únosnosti zeminy pod pilířem, což může způsobit ztrátu stability. Zanesení profilu, které má za následek snížení kapacity daného toku a za zmínku stojí i zanesení nádrže, kde sedimenty mohou být nosiči chemických sloučenin, které negativně ovlivňují kvalitu vody, ale zároveň se snižuje objem nádrže.

I splaveniny mají však i kladné stránky, protože napomáhají k obohacení vodních toků o potřebné živiny, které mohou využívat vodní rostliny a živočichové.

Chování splavenin je nutné dále zkoumat, abychom byli schopni plně porozumět vlivu splavenin na ekosystém.

VUT v Brně je partnerem v projektu SEDECO – Sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT – CZ financovaného pomocí INTERREG AT – CZ.

Projekt je zaměřen na zajištění lepšího stavu ekosystémových služeb, biologické rozmanitosti a snížení vlivu povodní a sucha v přeshraniční části povodí řeky Dyje. Cílem projektu je především výstavba a návrh účinných opatření zelené infrastruktury, jako například obnova meandrů, obnova břehů pomocí konstrukce z mrtvého dřeva a vytvoření ostrovů v nádržích. Nová hydraulická laboratoř, resp. výzkumné centrum vybudované ve Vídni bude společně s měřením sedimentů, říčního dna, dna nádrží a společným modelováním tvořit základ pro optimální návrhy prvků zelené infrastruktury. Dalším cílem projektu je zlepšit znalosti systému řeky Dyje, včetně udržitelné strategie řízení nádrže z pohledu jejich zanášení, které pomohou minimalizovat rizika povodní a sucha. Dále pak zlepšit morfodynamiku meandrů toku v přeshraniční oblasti a ochranu přírodních a obnovených břehů řeky Dyje. Tímto způsobem bude pozitivně ovlivněn ekosystém a související biodiverzita v povodí.

V návaznosti na tento projekt bude provedeno měření plavenin v osmi vybraných profilech povodí. Přičemž čtyři profily se budou nacházet na území České republiky a čtyři profily v Rakousku na území povodí řeky Dyje. Aby bylo možno společné měření plavenin provést, je nutná důkladná spolupráce při měření. Je nutné stanovit společné postupy při sběru a vyhodnocení měřených dat. Hlavní partner projektu universita BOKU Vídeň má dlouholetou zkušenost s měřením sedimentů v tocích. Její metody a postupy jsou přenositelné i na naše území. Základním teoretickým podkladem pro společné měření bude sloužit metodika Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo zajistit podklady, přeložit poskytnutou metodiku Rakouskou stranou a následně ji zpracovat. Hlavním účelem bylo zajištění teoretických znalostí v dané problematice a získání přehledu jak o postupech měření a možnostech, tak o nárocích na měřicí zařízení, která vychází hlavně ze zkušeností.

Zároveň je tato práce přípravnou částí pro budoucí diplomovou práci, kde už bude součástí práce i reálné měření a zpracování dat. Případně další zaměření, které vyplyne až po plném spuštění projektu.

3 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

Sedimenty mohou být přírodní materiál, který se rozpadl/oddělil vlivem počasí a půdní eroze, nebo antropogenního původu. Antropogenní sedimenty jsou odpadky, po zimní údržbě smyté posypové materiály. Sedimenty jako transportní médium používají vítr, vodu, led (ledovce). Například písek může být unášen jako suspenze v říční vodě a může se dostat až do moří, kde klesá ke dnu (sedimentuje) a může se z něj v průběhu času stát kompaktní částice. Příkladem fluidního procesu jsou pláže a břehy řek. Pouště jsou výsledkem unášení částic větrem. Uložení částic je většinou ve vrstvách s přičiněním chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů.

Nerozpuštěné látky, které mohou být organického, nebo anorganického původu, můžeme rozdělit na dvě hlavní kategorie, a to plávi a splaveniny.

Plávi (splávi), což jsou částice pohybující se u hladiny vody a některou svojí částí vyčnívají z vody.

Splaveniny se pohybují v proudu vody a jsou zcela ponořené. Splaveniny dále dělíme na dnové splaveniny, které se pohybují u dna a na plaveniny. Pro plaveniny je charakteristické, že se vznášejí v proudu vody a tvoří tak suspenzi.

Splaveniny můžeme rozdělit podle původu jejich vzniku. Vlivem půdní eroze vzniká smyv v oblasti povodí a splaveniny se dají rozlišit především díky tomu, že jejich zrnitost neodpovídá složení zrnitosti materiálu ve dně koryta. Převážně je zaznamenáme jako plaveniny a nemají tendenci sedimentovat v toku. Dalším druhem jsou splaveniny, které vznikly díky proudění vody v samotném korytě a turbulence je uvedla do pohybu. Jejich chování lze definovat jako dnové splaveniny nebo plaveniny.

Nerozpuštěné látky se dělí i v rámci hloubky v toku na tři kategorie. Plávi, jak již bylo zmíněno výše, které plave na hladině. Tyto částice se dají snadno zachytit a odstranit. Splaveniny se pohybují díky proudění a při nízkých rychlostech mohou sedimentovat. Usazeniny jsou nepohyblivé částice, které jsou na dně a vznikly sedimentací splavenin.

U sedimentů rozlišujeme tři základní pohyby. Vymílání, kdy dojde k odtržení částice ze dna. Samotný pohyb (transport), kdy je vlivem proudění uvedena částice do pohybu. Posledním pohybem je usazování, které nastává v případě, kdy unášecí síly nejsou dostatečně silné a částice klesá ke dnu a díky tomu vzniká usazenina.

Veškeré pohyby jsou závislé na průtoku, rychlosti proudu a frakci zrna. Obecně lze říci, že velikost zrna u nerozpustných látek se pohybuje v rozmezí 0,2 mm až 0,7 mm (samozřejmě v závislosti na hydraulických podmínkách). U alpských řek se často považuje za hranici průměr zrna 1 mm.

Jak je zřejmé z výše uvedených informací, suspendované látky se liší mineralogickým, chemickým složením a také rozložením velikosti částic.

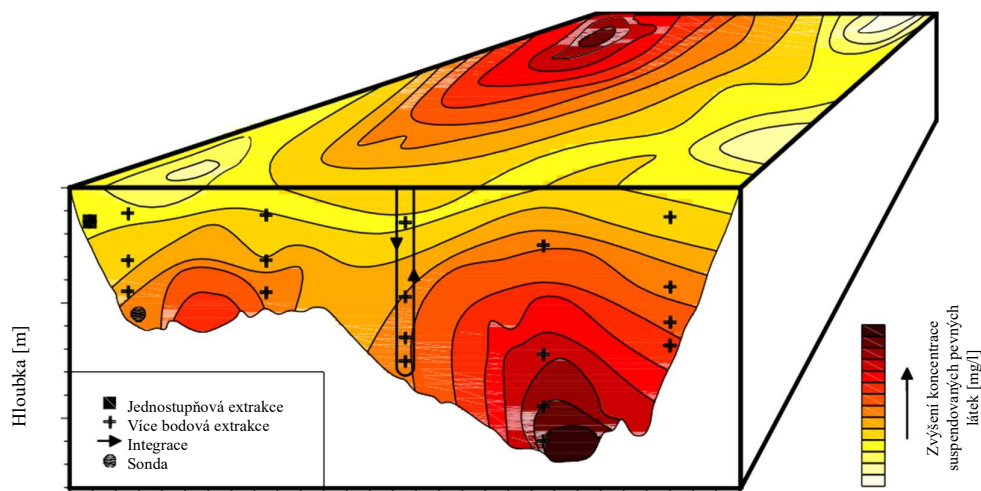
Tyto informace poskytl v rámci přednášek doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.,
dále vychází z [1] a [2].

4 METODIKA A STRATEGIE MONITOROVÁNÍ

Tato kapitola pojednává o základních fyzikálních podmínkách a problémech při zachycení suspendovaných látek. Dále se rozeberou jednotlivé metody zaznamenávání variability koncentrace suspendovaných látek, jak v rámci času, tak prostoru a zároveň se definují požadavky na zařízení pro detekci koncentrace suspendovaných látek a požadavky na laboratorní vyšetření vzorků suspendovaných látek. Zmíněna bude také monitorovací strategie a zvláštní případy, kterou musíme brát v potaz. Následující odstavce vychází z [2]

4.1 Základní fyzikální podmínky a problémy při zachycení suspendovaných látek

Vzhledem k vyšší hustotě ve srovnání s vodou, suspendované pevné látky podléhají trvalému klesání. V důsledku turbulence způsobené proudem vody, se suspenze pohybuje napříč všemi výškami. Rychlost klesání závisí rozhodujícím způsobem na dostupných průměrech zrn. Čím menší zrna (břidlice, jíly), tím menší je potřebná intenzita pro zajištění rovnoměrného rozložení nerozpustných těles ve svislé rovině. Pro větší částice je vyžadováno výrazně vyšší turbulence, a proto koncentrace větších částic jsou v blízkosti dna. Změny koncentrací vzhledem k času se týkají převážně změny hladiny nebo toku jako takového. Velkou roli také hraje dostupnost samotného materiálu a vliv srážek. V průběhu roku během povodňových událostí, kdy je dosaženo turbulentního proudění v toku, je možné přepravovat velké množství suspendovaných látek, tj. maximální koncentrace nerozpuštěných pevných látek. Maxima se převážně dosahuje před samotným vrcholem povodní. Změna koncentrace suspendovaných látek v prostoru a čase je znázorněna na Obrázek 1.



Obrázek 1: Variabilita koncentrace suspendovaných látek v prostoru a čase

Z těchto úvah vyplývá, že vzorkování průtokového průřezu s odběrem z jednoho bodu je často nedostatečné, aby bylo možné reprezentativně zachytit vzniklou časovou a prostorovou variabilitu transportu suspendovaných pevných látek. Pro optimální detekci by byly vyžadovány metody, které měří koncentraci a rychlost proudění ve vhodné mřížce v příslušném průřezu s dostatečným časovým rozlišením. Bohužel je toto možné jen v omezeném rozsahu s aktuálně dostupnými metodami. Použije se kombinace měření zákalu a odběrů vzorků.

4.2 Metody zaznamenávání časové variability koncentrace suspendovaných látek

4.2.1 Postupy přímého odběru vzorků

4.2.1.1 Odběr z jednoho bodu

Při vzorkování s jedním bodem se v jednom bodě vodního útvaru odebere vzorek suspendovaných látek okamžitým vzorkovacím zařízením. Odběr může probíhat z mostu, kabelového jeřábu, lodi nebo od břehu. Použití zařízení pro odběr vzorků je také možné, jako jsou třeba čerpadla. Pro zaznamenání časové variability je potřeba provádět opakované odběry.

4.2.2 Nepřímé postupy

Jak je vysvětleno v oddíle 4.1, kontinuální zjišťování koncentrace suspendovaných látek je nezbytným předpokladem pro dostatečně přesné stanovení

časové variability splavenin. V současné době se bohužel kontinuálně neměří a koncentrace suspendovaných pevných látek je nepřímou zjištěna pomocí měření zákalu. Studie prokázaly, že koncentrace suspendovaných látek z proudu podstatně lépe koreluje se zákalem než s tokem, nebo vodní hladinou. Aby bylo možné zjistit zákal jako parametr, náhradu za koncentrace nerozpuštěných látek v tekoucí vodě, záleží na optických metodách, které jsou k dispozici. Měříme snížení viditelnosti v říční vodě opticky hustších nerozpustných látek v rozptýleném světle nebo na principu přenášení světla. To umožňuje kvantifikovat zákal vody.

Sondy zákalu jsou standardně kalibrovány výrobcem pomocí přípravku Formazin. V závislosti na způsobu měření a rozsahu použití se v měřicí technologii používají různé výstupní jednotky.

Společné jednotky jsou:

FAU (útlumové jednotky Formazinu), aplikace v měření přenášeného světla

FNU (Formalinové nephelometrické jednotky), měření rozptýleného světla v úhlu 90°

FTU (jednotky zákalu Formazinu), jednotka pro úpravu vody

Optické metody mají tu nevýhodu, že distribuce velikosti zrna má rozhodující vliv na výsledky měření. Malé velikosti zrna způsobují poměrně vysokou hodnotu zákalu při poměrně nízké hmotnosti, zatímco hrubší zrna způsobují poměrně nízký zákal kvůli menšímu specifickému povrchu. Je proto nutné převést průběh zákalu pomocí odběru vzorků v koncentracích suspendovaných látek, aby se z něj získala koncentrační křivka.

Jiné nepřímé metody pro určení časové variability transportu suspendovaných pevných látek jsou v současné době mezinárodně testovány ve výzkumných projektech. (např. Akustické metody, lasery).

4.3 Metody zaznamenávání prostorové variability koncentrace nerozpustných látek v průřezu

4.3.1 Postupy přímého odběru vzorků

4.3.1.1 Vícebodový odběr

Pro provedení odběru vzorků z vícebodové části průtočného průřezu je rozdělen do množství sekcí, které jsou nastaveny ve středu vertikál, pro které je jeden vzorek z různých hloubek. Počet vertikál a měřících bodů závisí na šířce a hloubce vodního útvaru. Obecně platí, že pro určení horizontální distribuce suspendovaných pevných látek postačuje pět až deset kolmých sekcí.

Současným určením místních rychlostí v příslušných místech vzorkování je umožněn výpočet váženého průměru koncentrace suspendovaných látek (s_m) v příčném profilu.

Vícebodové vzorkování je považováno za nejpřesnější metodu odběru vzorků pro stanovení transportu suspendovaných pevných látek. Nevýhodou je vysoká doba potřebná k provedení vícebodového odběru. Odběry by měly probíhat za stabilních podmínek, protože nestabilní podmínky dávají nepřesný výsledek.

4.3.1.2 Integrační extrakce

Během extrahování je průřez toku rozdělen na několik úseků. Spustí se ústrojí v příslušném vertikálu s konstantní rychlostí od hladiny vody ke dnu a vytáhne se. Při použití vzorkovačů s časováním ventilů se může vzorek shromažďovat buď během spouštění, nebo při zvedání. Získá se tak průměrná koncentrace suspendovaných látek vážené rychlosti mezi plochou povrchu a plochou pro každý měřený úsek. Předpokladem toho je, že přítok do měřicího zařízení je převážně izokinetický. Výhoda integrační extrakce ve srovnání s vícebodovým odběrem spočívá v rychlejší proveditelnosti vzorkování profilu. Tato metoda se však stává nepřesnější se zvyšujícím se průtokem, což je důvod, proč by měla být preferována vícebodová extrakce.

4.3.2 Nepřímé postupy

V zásadě jsou všechna měřidla s nepřímými měřicími metodami, která mohou být použita jako mobilní a jsou vhodná pro detekci prostorové variability koncentrace nerozpustných látek.

4.3.2.1 Akustické metody

„Akustický Dopplerův proudový profil“ (ADCP2) využívá Dopplerův efekt pro měření rychlosti tekoucí vody. Ultrazvukové měniče ponořené do vody vydávají zvukové vlny, které se odrážejí částicemi suspendované látky nebo na dně vody a jsou vyzařovány „převodníky“ a detekovány. Registrovaný posuv frekvence lze použít k určení rychlosti proudění média.

Zpětně rozptýlená intenzita ozvěny závisí hlavně na vlnové délce ultrazvukového signálu, koncentraci nerozpustných látek a distribuci velikosti částic. Pomocí tohoto vztahu, který lze popsat pomocí sonarové rovnice, je možné převést zjištěné relativní intenzity ozáření na absolutní intenzity a následně na koncentrace suspendovaných látek. Pokud se místně přiřaditelné vzorky vody ve sledovaném profilu řeky shodují s ADCP, považujeme záznam za věrohodný, gravimetricky se vyhodnotí v laboratoři a poté lze nastavit absolutní intenzity jednotlivých měřicích článků.

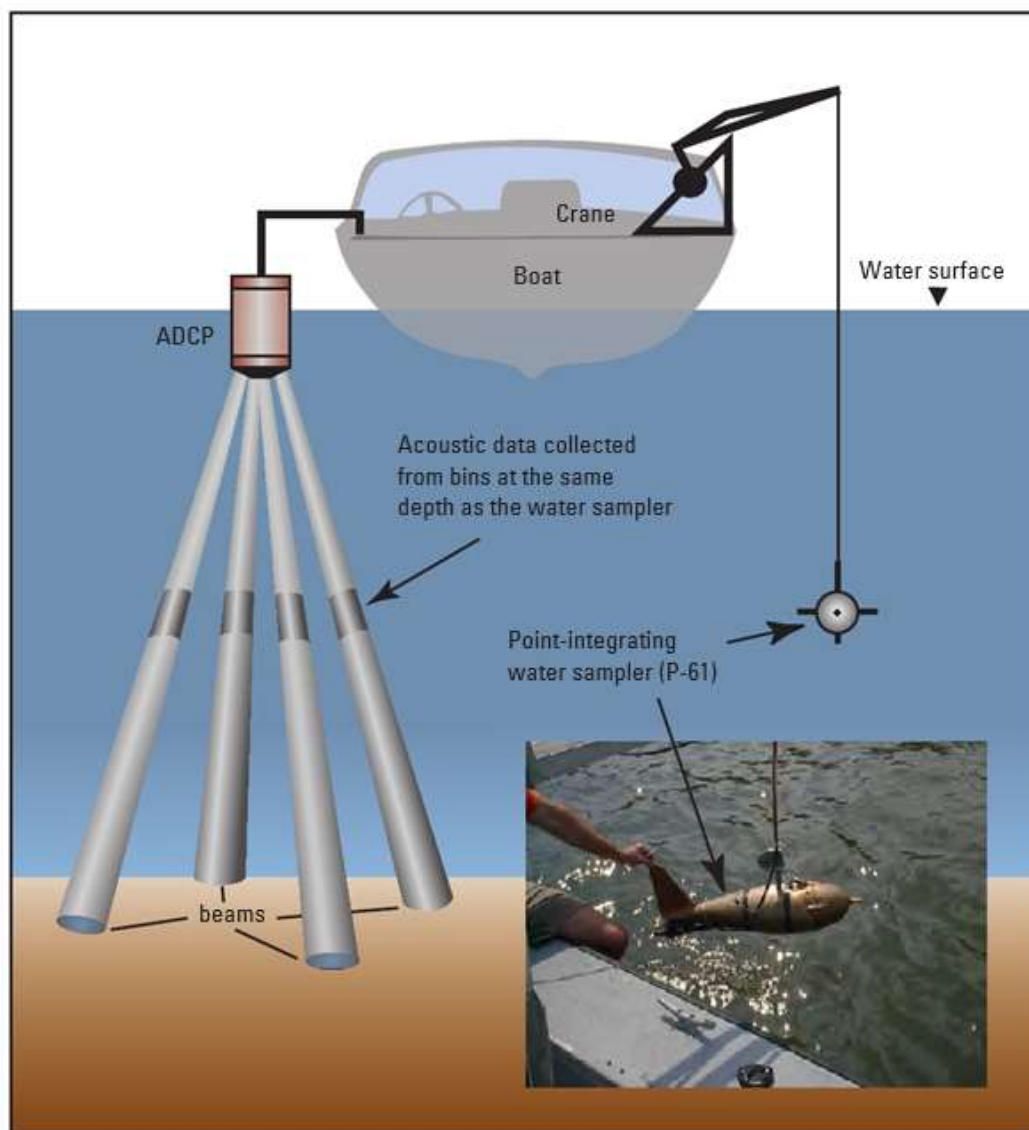
Tato data mohou být použita k určení průměrné distribuce rozptýlených pevných látek v příčném profilu a k výpočtu koeficientu průřezu.

4.3.2.2 Optické metody

Sondy zákalu nebo jiné optické měřicí přístroje mohou být vždy umístěny v libovolném místě příčného profilu. Je-li sonda kombinována se vzorkovacím zařízením (obr.2), kromě koncentrace příslušného vzorku je i dostupná časová kalibrace.

ADCP2 je registrovaná ochranná známka společnosti RD Instruments, Inc. (RDI). Termín se zatím stanovil pro označení akustických Dopplerových zařízení pro měření proudění suspendovaných látek a v tomto smyslu se také používá v následujícím smyslu.

Musí se určit variabilita koncentrací suspendovaných látek v místech odběru vzorků. Pokud jsou kalibrační vzorky dobře korelovány s výsledky záznamu sondy, počet vzorků, které jsou potřeba odebrat se může snížit. Dále je možné zvýšit přenos měření zvýšením hustoty měřicího bodu bez zvětšení rozsahu kalibračních vzorků. V současné době se naměřené hodnoty stále převádějí na břeh pomocí kabelů, což představuje vážnou nevýhodu pro tuto metodu. Pokus umístit snímač v oblasti vozíku lanovky ukázal, že tato varianta může být také účinná. Má však nevýhodu, že naměřené hodnoty nemohou být během měření vyhodnocovány, a proto nemohou být řízeny bez rádiového přenosu.



Obrázek 2: Sonda zákalu připevněná ke člunu vlevo a vzorkovací zařízení připevněno vpravo

4.4 Požadavky na zařízení pro detekci koncentrace suspendovaných látek

4.4.1 Požadavky na zařízení pro přímý odběr vzorků

Odběr vzorků suspendovaných látek z vodních toků může být prováděn jednoduše nabíráním kbelíků až po technicky propracované vzorkovací zařízení.

Odběrná zařízení, která jsou schopna shromažďovat izokineticky, mají přednost při výběru vhodného zařízení. Izokineticky znamená, že rychlost přítoku do kolektoru je stejná, jako rychlost proudění okolní vody. Pokud je rychlost příliš vysoká, bude mít vzorek nižší koncentraci, než skutečně má a nižší přítok bude mít opačný účinek. V důsledku nehomogenity plavenin, by měl být odběr vzorků integrován s časem, s cílem získat reprezentativní vzorek. Vzorek suspendované látky by se měl být odebrán přímo do lahve vzorku, protože přenos může vést ke ztrátě materiálu (přilnutí materiálu ke stěně nádoby).

Láhev s minimálním objemem 1 litr by neměla být naplněna (efekt pasty), ale musí obsahovat minimální množství $\frac{1}{2}$ litru. Při použití u vysokých průtokových rychlostí je žádoucí, aby vzorkovací zařízení mělo odpovídající váhu pro umístění a držení. Zjednodušeným tvarem vzorkovacího zařízení může být unášecí síla udržována na nízké úrovni. Pro jakékoliv umístění ve vodním prostředí musí být zařízení na odběr vzorků použitelné pomocí lanovky nebo měřicího přívěsu (například mostů). Pro použití při vícebodovém odběru vzorků musí být zařízení vybaveno regulačním ventilem, s výjimkou mělkých, pomalu tekoucích vod. Pro dosažení konstantních podmínek, měl by být čas potřebný pro provoz zařízení a pro získání vzorku co nejmenší.

4.4.2 Požadavky na zařízení pro nepřímou detekci koncentrace suspendovaných látek

Pro nepřímou detekci koncentrací suspendovaných látek jsou v podstatě k dispozici optické a akustické metody. Při použití optických snímačů je třeba dbát na to, aby měřicí rozsah byl od 0,001 g/l do více než 50 g/l. Protože za zvláštních podmínek, např. sesuvy půdy, se mohou vyskytnout i větší koncentrace. Měřicí rozsah je přizpůsoben konkrétnímu vodnímu tělesu. Sondy zákalu by měly být vybaveny čistícím systémem, protože znečištění optické sondy zhorší data. Použití jiných senzorů zákalu je přípustné po provedení vhodného testu způsobilosti, přičemž zvláštní pozornost je věnována nízké nejistotě měření a velmi dobré reprodukovatelnosti v celém měřicím rozsahu.

K určení distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu pomocí akustických metod lze použít mobilní zařízení ADCP. Při používání zařízení ADCP je třeba zajistit, aby bylo možné vyhodnotit distribuční koncentraci.

4.5 Požadavky na laboratorní vyhodnocení vzorků suspendovaných látek

Aby bylo možné určit koncentraci suspendovaných látek získaných vzorků, jsou v laboratoři gravimetricky vyšetřovány na obsah filtrovaných látek. To se provádí pomocí filtrace celého množství roztoku pomocí tlaku nebo vakua. (Filtreační zařízení za použití membránových filtrů na bázi celulózy nebo ekvivalentní filtr pro provedení testu. Průměr pórů by měl být 0,45 mikrometrů.

4.6 Rozdělení velikosti zrna

Pro určité aplikace, jako je modelování suspendované hmoty, je zapotřebí informace o velikosti částic. Distribuce velikosti částic, podobná koncentraci suspendovaných pevných látek, podléhá časové a prostorové variabilitě. Rozdělení velikosti zrn po průřezu nebo objem jednotlivých frakcí zrn by bylo, jak ISO 4363 (2002) popisuje, příliš nákladné. Pro získání alespoň přehledu o existujícím rozložení velikosti částic v profilu u jakýchkoliv projektů jsou občas na základních měřících bodech získány jednobodové vzorky pro analýzy velikosti částic a odpovídajícím způsobem vyhodnoceny. V takovém případě je nutno stanovit podmínky odběru, jako je doba odebrání, vzorkovací zařízení, přesný vzorkovací bod ve vodě a podmínky průtoku během odběru vzorků. Kromě toho musí být popsána metoda laboratorní analýzy, jelikož různé metody hodnocení poskytují různé výsledky.

4.7 Monitorovací strategie

Vzhledem k tomu, že kombinace přímých a nepřímých metod má smysl při zachycování částic, uplatněná strategie sledování v Rakousku je odvozena z kombinace výše uvedených. Metody měření, jako jsou optické sondy, nepřetržitě detekují zákal v jednom bodě vody. Vzhledem k tomu, že záznamy jsou silně ovlivněny časovou variabilitou rozdělení velikosti částic ve vodním útvaru, musí být kalibrovány tak, že se v blízkosti sondy odeberou vzorky pomocí láhve (kalibrační vzorky). Výsledkem je hydrograf koncentrace nerozpustných látek v blízkosti sondy. Pomocí měření více bodů, integrace nebo ADCP se rozdělení koncentrací nerozpuštěných pevných látek získává průřezem a vypočítá se pomocí rychlosti váženým průměrem koncentrace v příčném profilu. Porovnáním střední koncentrace suspendovaných látek s koncentrací kalibračního vzorku v blízkosti sondy se generuje časová řada průměrné koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu. Poté lze pomocí časové integrace pro jakékoliv časové období zjistit suspendovanou hmotu.

Metodika měření používaná v Rakousku a četnost jejich realizace jsou uvedeny v tabulce 1 jako přehled.

Tabulka 1: Strategie měření pro základní měřicí body (implementováno v Rakousku)

Parametr	Metoda	Četnost
Zákal	Zákalová sonda	Nepřetržitě
Suspenze pevných látek v blízkosti sondy	Jednoduchá extrakce v blízkosti sondy (kalibrační vzorky)	Při záplavách denně S nízkou koncentrací vzácně
Distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu	Vícebodové vzorkování, integrační vzorkování, kombinované měření ADCP se vzorkováním	2–4 x ročně při různých průtokových rychlostech v závislosti na ochraně koeficientu příčného profilu
Zrnitost	Odběr vzorků pro získání dostatečného množství suspendovaných látek	Žádoucí alespoň jednou ročně s vyšším přísunem vody

4.8 Zvláštní případy

U delších stávajících měřicích bodů nebo při historických měřeních je vzorkování o jednom bodě obvyklým způsobem a bude se používat i nadále, až do úplné konverze měřicí metody. Navíc může být jako náhrada použita jednobodová extrakce, pokud nemůže být provedeno rozsáhlé sledování kvůli zjištěným potížím (např. biologické znečištění na sondách). Údery bleskem vedou k selhání sond, takže nejsou zaznamenávány žádné kontinuální hodnoty zákalu. V takových případech je nutné odchýlit se od obvyklé strategie sledování a provést menší množství monitorování sedimentů, přizpůsobené vzniklé situaci. Provádění alternativní strategie sledování je nezbytné, pokud:

- Prostorové rozdělení nelze určit
- Neexistuje nepřetržité nahrávání
- Lze odebrat pouze vzorky s jedním bodem

Proto při absenci záznamů sondy založených na vzorkování a průtoku v jednom bodě musí být vytvořena kontinuální linka. Pokud nejsou informace o postranním rozložení v těle vody, předpokládá se, že koncentrace v místě odběru odpovídá střední koncentraci v příčném profilu. Vzorky by však měly být vždy odebírány ve stejném místě ve vodě. Pro odhad reprezentativnosti vybraného místa odběru vzorků by měl být dodatečný vzorek rozdělen do profilu průřezu a použit pro posouzení.

5 POPIS MĚŘENÍ

V této kapitole bude vysvětleno umístění měřících bodů. Jak postupovat při kontinuálním měření, nastavení nahrávání měřících sond a jejich kalibraci. Zároveň budou popsány metody měření suspendovaných látek. Následující podkapitoly vychází z [2].

5.1 Umístění měřících bodů

Měřiče sedimentů musí být konstruovány a provozovány tak, aby měření bylo možné po celý rok. Výsledky měření musí být reprezentativní pro vodní úsek. Z tohoto důvodu se pro volbu umístění měřícího místa, jakožto i umístění sondy ve vodě, zohledňují tyto parametry, které musíme brát v úvahu. Vykládky a erozivní tendenci, led, vysychání a připojení samotné sondy, biologické znečištění, vypouštění a plevel.

5.1.1 Měřící body v rozsahu průtoku

Stejně jako v případě výběru míst pro měření vodní hladiny, tak musí být spolehlivé stanovení celkového průtoku a suspendované zatížení zvláště při povodních. Dokonce i v případě zaplavení, je třeba zajistit provoz a dostupnost. Zejména sledovat v měřících bodech hydraulických poměrů v oblasti hladiny a v celém rozsahu měřeného profilu.

Měřený profil je třeba zvolit tak, aby se rychlost nerozpuštěných látek v příčném řezu v různých úrovních vody neměnila a zůstala přibližně stejná. Kromě toho, žádné zpětné proudy by neměly být v oblasti měřícího bodu.

5.1.2 Body pro měření v oblasti jezových elektráren

Měření zákalu a kalibrační vzorky by měly být prováděny ve spodní části jezů. Musí být dosaženo, aby byl za všech provozních podmínek zajištěn reprezentativní výsledek měření (turbínový průtok, přepad). Pokud jsou zákalové sondy používány bezprostředně pod elektrárnami, je třeba zajistit, aby nedocházelo k poruchám měření vzdušnými bublinkami.

5.2 Kontinuální měření

Průtok musí být znám pro stanovení zátěžových stavů a musí být průběžně stanoven průtok v základních měřících bodech

Pro kontinuální sběr nerozpustných látek je nutné měřící bod vybavit senzorem zákalu a ten by měl být použit přímo ve vodním toku.

Měřicí optika by měla být umístěna ve směru toku nebo kolmo na něj ve vodě. V zásadě by bylo žádoucí výškové umístění zákalové sondy závislé na hladině vody, ale to lze dosáhnout jen s velkým úsilím. Výška nad dnem by měla být zvolena tak, aby se tam, kde je to možné, zabránilo sedimentování splavenin v okolí sondy, a že při vyšších turbulentních pohybu šterku neznečišťuje zaznamenaný zákal nebo poškozuje měřidlo. Měly by být zohledněny faktory ovlivňující biologické znečištění (viz kapitola 5.3.2).

Není-li přímá instalace sondy do vody možná, může být instalována sonda zákalu v trubním systému a zákal tak trvale zaznamenává neustálým čerpáním říční vody. Výhodou je dostupnost údržby sondy, ale nevýhodou je znehodnocování vzorků suspendovaných látek čerpadlem a/nebo potrubím (zničení vloček, selektivní odstraňování). Bypass řešení se na některých místech ukázalo jako neúčinné pro provoz čerpadel a reprezentativní odběr vzorků.

Montáž snímače by měla být navržena tak, aby bylo možné provádět záchranu měřicího přístroje pro účely údržby v téměř všech průtokových podmínkách. Pro tento účel se používají skládací a železniční konstrukce (Obrázek 3, Obrázek 4).



Obrázek 3: Konstrukce kolejnice pro Solitax ts – Obrázek 4: Skládací konstrukce pro Solitax ts – line line

Doporučuje se měřicí body vybavit následujícím způsobem:

- Elektrina
- Odpovídající zařízení pro údržbu a čištění sondy po celou dobu
- Lanovka s nejvyšší možnou rychlostí jízdy (zejména při záběru více bodů) a s dostatečným užitným zatížením pro vhodné uspořádání výšky lana a upínacího zařízení pro snadné ovládání a manipulaci s kolektory v úrovni navijáku.
- Signální dům s dveřmi dostatečné šířky a výšky. Rozšířený o manipulační plochu mimo obvodový plášť pro vyprazdňování vzorkovacích zařízení. Pro uchovávání vzorků a lahví je zapotřebí také prostor a odvodňovací systém v podlaze s odpovídajícími sklonovými podmínkami.

Alternativně lze měření průtoků a suspendované hmoty provádět také z mostů nebo měřících nádob.

5.3 Kontinuální nahrávání sondy

Nastavení sond zákalu je třeba zvolit odlišně v závislosti na metodě měření. Obecně se doporučuje zaznamenávat naměřené hodnoty v mg·TS/l. Nahrávání v jednotkách zákalu je také možné, protože kalibrace se již provádí na základě sond blízkých vzorkům. Dále je zapotřebí zaznamenat naměřené hodnoty alespoň v 15minutovém intervalu, doporučeném jako 15minutový průměr a s dobou odezvy 1 minuta. Druh záznamu musí být zdokumentován.

5.3.1 Záznam dat a přenos dat

Při výběru měřicího rozsahu sondy zákalu je třeba poznamenat, že jsou zaznamenávány i vysoké koncentrace, které se vyskytují při povodních. Měřicí rozsah musí proto být přizpůsoben příslušnému vodnímu toku (viz. Kapitola 4.4.2).

V každém případě se doporučuje vzdálený přenos dat, který lze organizovat přes proudové výstupy nebo přes sběrníkové systémy. V závislosti na možnosti by měly být výhodné sběrníkové systémy vzhledem k přesnosti výstupu. Při použití analogového přenosu na dataloggeru je třeba věnovat pozornost zajištění dostatečné přesnosti během přenosu. Nastavení musí být provedeno tak, aby nebyl překročen rozsah měření. To lze vyřešit dvěma datovými kanály, jedním kanálem vysílajícím dolní plochu rozptýleného materiálu s vysokým rozšířením a druhým, který zajišťuje plný rozsah. Jako kontrolu by měly být data přečtena už přímo na dataloggeru.

5.3.2 Bioznečištění

Biologickým znečištěním se rozumí růst řasového filmu, který se připevňuje k senzoru nebo k optice a tím simuluje vyšší koncentraci suspendovaných látek. Tento problém byl pozorován u měřících míst, kde dochází k slunečnímu záření na měřicí optiky. Hlavní ovlivňující faktory jsou např. nízká hloubka instalace, nízký zákal a nedostatečné zastínění. Vyšší průtoky a nižší teploty vody mají za následek nižší biologické znečištění.



Obrázek 5: Znečištění sondy

V závislosti na citlivosti místa měření na biologické znečištění je vyžadována zvláštní péče o sondu. To je třeba chápat jako ruční odstraňování řasového filmu na měřicí optice, protože čištění stěračem nebo stlačeným vzduchem jej nemusí odstranit. K minimalizaci tohoto zvýšeného úsilí bude problém biologického znečištění předmětem dalších studií. Konstruktivní opatření k ochraně proti slunečnímu záření a tím zabránění výskytu biologického znečištění. Znázorněno na Obrázek 6, Obrázek 7.



Obrázek 6: Sonda v chrániče



Obrázek 7: Sonda v chrániče

5.3.3 Údržba a servis

Sonda musí být pravidelně odebírána z vody a vyčištěna nejméně jednou ročně. Čistící interval musí být zvolen podle frekvence a závažnosti výskytu biologického znečištění. Optika může být čištěna běžnými čistícími prostředky na sklo a okna. Při těžším znečištění se doporučuje použití algaecidu nebo 5% kyseliny chlorovodíkové. V případě, že nečistoty (větve, plastové sáčky...) přesunou sondu nebo upevnění sondy, musí být okamžitě odstraněny.

Životnost gumových stěračů závisí jak na intervalu stírání, tak na druhu krycího materiálu, který má být odstraněn, což vede k individuální životnosti. Stěrače musí být kontrolovány alespoň jednou ročně a v případě potřeby vyměněny. Servis sond se provádí podle pokynů výrobce.

5.4 Kalibrace

Odebrání kalibračního vzorku se provádí snížením lahve o objemu 1000 ml, která je držákem uchycena na tyč nebo lano, co nejbližší sondážové optice. Láhev by měla být spuštěna co nejrychleji do vhodné hloubky. Důležité je počkat, dokud se z lahve nedostane všechen vzduch. Následně se má vzorek rychle vytáhnout z vody. Je třeba dbát na to, aby se při zpětném vytažení lahve nedostal do útroby spodní podklad. Při použití zařízení pro odběr vzorků na sloupu lze namontovat vstupní trubku, aby se získaly časově integrované vzorky. U rychle tekoucích toků se ukázalo jako užitečné umístit zařízení nad vodní hladinu rovnoběžně se směrem proudění, dokud rychlost oscilací nedosahuje rychlosti proudění. Následně se vzorková láhev spustí do vody v přední části inflexního bodu kyvadlového pohybu, aby se mohla odvádět proudící vlnou.

Sběrné vzorky čerpadel lze použít také k odběru kalibračních vzorků.

Vzorkovací interval kalibračních vzorků se může lišit v závislosti na průtoku, normálně by mělo být vzorkování prováděno jednou za týden. Při nízkých rozptýlených látkách může být vzorkování méně časté, zatímco během povodňových událostí může být požadován odběr vzorků nejméně jednou denně (viz. Tabulka 1)

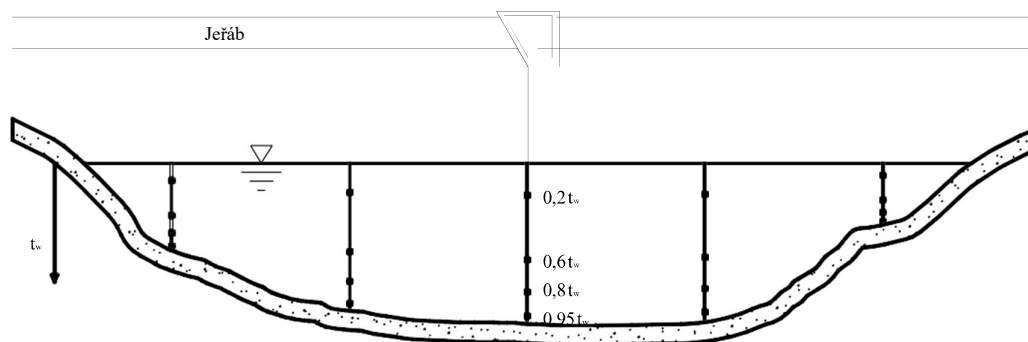
5.5 Stanovení prostorové distribuce koncentrace suspendovaných látek v příčném profilu

Stanovení prostorového rozložení suspendovaných pevných látek se používá pro stanovení průměrné koncentrace nerozpuštěných látek v příčném řezu a měly by být až do zajištění charakteristiky koeficientu průřezu (oddíl 5.4), která se provádí 2-4 krát za rok a při různých průtocích. Pro zajištění vysoké kvality vzorkování je třeba, aby bylo provedeno v souladu s kapitolami 4.5.1 až 4.5.3 a také je nutné zvážit připomínky v oddíle 4.6

5.5.1 Vícebodové vzorkování

Vzhledem k tomu, že stanovení průměrné koncentrace suspendovaných látek se provádí na profilu průřezu pomocí vícebodového odběru vzorků, je kromě odběru vzorků požadováno průtokové množství v místě odběru vzorků.

Vícetupňové vzorkování lze provádět až do průtokových rychlostí 4 m/s. Vzorky by měly být odebírány co nejvíce izokineticky. Při vyšších průtokových rychlostech se objevují podmínky, které již neumožňují vzorkování s požadovanou kvalitou. Nicméně lze předpokládat, že za těchto podmínek, je odběr vzorků na povrchu dostatečný, protože při vysokých rychlostech proudění v důsledku turbulence a při nízkých průtocích v důsledku nedostatku frakce písku, může nastat dobré promíchání. Obrázek 8 znázorňuje vícebodovou extrakci ve čtyřech hloubkách.



Obrázek 8: Reprezentace vícebodové extrakce ve čtyřech hloubkových krocích

Níže je uveden postup, který by bylo vhodné následovat.

- 1) Omočený obvod příslušného příčného profilu je rozdělena na 5-10 úseků stejné šířky (zaokrouhlení šířky pro snadnější rozdělení).
- 2) Umístění měřících zařízení je na středech dříve definovaných úseků
- 3) Musí se specifikovat počet vzorkovacích míst na kolmici (obvykle 3 - 5 vzorkovacích míst ve stejných relativních vzorkovacích hloubkách). Hloubka vzorkování se vypočte z hladiny vody (t_w = hloubka vody ve svislé poloze).
 - a. Pětibodová metoda: $0,05 \cdot t_w$; $0,2 \cdot t_w$; $0,6 \cdot t_w$; $0,8 \cdot t_w$; $0,95 \cdot t_w$
 - b. Čtyřbodová metoda: $0,2 \cdot t_w$; $0,6 \cdot t_w$; $0,8 \cdot t_w$; $0,95 \cdot t_w$
 - c. Tříbodová metoda: $0,2 \cdot t_w$; $0,6 \cdot t_w$; $0,8 \cdot t_w$
 - d. Dvojbodová metoda: $0,2 \cdot t_w$; $0,8 \cdot t_w$
 - e. Jednobodová metoda: $0,6 \cdot t_w$
- 4) Současně se odebere kalibrační vzorek ze sondy zákalu, úroveň vody a výsledky sondy musí být zaznamenány v protokolu.
- 5) Zjištění proudění vody pomocí přístroje na měření rychlosti ve stanovených hloubkách. Pro všechny hloubky musí být odpovídajícím způsobem kompenzována chyba, která je způsobena posunem.
- 6) Pokud je hloubka vody menší než 3,6 m, při použití lana o váze 100 kg je třeba vyřadit čtyř a pěti bodová měření. Pokud je nejnižší bod vzorkování 5 cm od

měřicího bodu 0,8 h, může být vynechán nejnižší bod měření. To se obvykle provádí při použití 100 kg lana při hloubkách menší než 1,15 m.

- 7) Průtoky se určují v místě odběru vzorků.
- 8) Dále je v protokolu zaznamenána hladina vody a časový průběh sondy, přičemž současně dochází k odběru kalibračního vzorku ze sondy zákalu. Tato operace se opakuje v třiceti minutových intervalech až po dokončení vícebodového odběru.
- 9) Pro odběr se použije izokinetický sběrač vhodný pro vzorkování v bodě.
- 10) Odběr vzorků suspendovaných látek se provádí ve stanovených místech odběrů vzorků. Délka trvání extrakce se stanoví pomocí stopek. Láhve na vzorky by se neměly plnit, ale neměly by obsahovat méně než polovinu možného množství objemu. Doba odběru vzorků a číslo vzorků musí být zaznamenány v protokolu.
- 11) Označení lahví pro vzorky obsahuje název místa měření, číslo vzorku a datum odběru vzorků.
- 12) Hodnocení je založeno na vážení, které je výsledkem distribuce rychlosti, je nezbytné, aby bylo možno správně představit koncentrace, které se vzhledem k rozložení rychlostí proudění liší od transportu suspendovaných látek v celém příčném profilu. Jednoduché aritmetické průměrování koncentrací v kolmých měření by dostatečně nezohledňovalo rozložení rychlostí v příčném profilu.

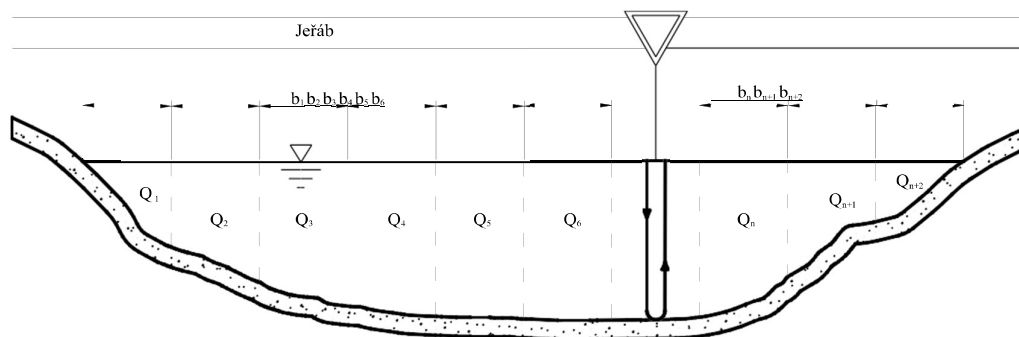
5.5.2 Integrační extrakce

Výsledky integrace jsou rychlejší než získávání výsledků z vícebodového měření, protože je zapotřebí méně vzorků a není třeba provádět simultánní měření rychlosti. Integrační výstupy se využívají v nestabilních poměrech průtoků. Dokonce i v mělkých, dobře napojených vodách s nízkými průtokovými rychlostmi. Při rychlosti do 1,5 m/s se dosahuje dobrých výsledků. S rostoucí rychlostí (>1,5 m/s) se integrační extrakce stává nepřesnou, což je důvodem, proč by měla být provedena preferovaná vícebodová extrakce.

Při provádění integračního vzorkování lze rozlišit dva přístupy, metodu rovnoměrné šířky a metodu stejné šíře – přírůstek.

5.5.2.1 Provádění vzorkování integrujících sedimentů pomocí metod Identická šíře a stejná šíře-přírůstek.

Pro použití metody EWI (Equal Width Increment) musí být průřez rozdělen na úseky stejné šířky (Obrázek 9). Uprostřed těchto úseků jsou odebírány vzorky. Musí se zanořit do stejné hloubky a se stejnou rychlostí zvedat. Musí být provedeno minimálně deset odběrů z kolmic.



Obrázek 9: Znáznornění integrační extrakce podle metody "Equal-Width-Increment"

Níže jsou uvedeny dvě varianty (s měřením průtoku a bez měření průtoku) "Equal Width Increment" a popsaná metoda identické šířky. Dodatečné měření rychlosti mají za následek zvýšení přesnosti.

Varianta 1 (bez měření průtoků)

- 1) Pro odběr použijeme izokinetický sběrač vhodný pro integrační vzorkování.
- 2) Omočený obvod příslušného průřezu je rozdělen na nejméně 10 úseků stejné velikosti (zaokrouhlení šířky pro snadnější rozdělení).
- 3) Umístění se určí pomocí středů dříve určených úseků
- 4) Pro určení přípustné rychlosti spouštění kolektoru se má zvolit kolmice, jejíž průměrná rychlost průtoku a hloubka vody jsou největší. V této kolmé rovině musí být požadovaná rychlost spouštění zvolena tak, že jednou rukou jsme schopni naplnit úplně celou láhev. Zvolená podmínka rychlosti $v_s < 0,4 \cdot v_m$, kdy v_s je rychlost klesání kolektoru a rychlost zdvihání. Proměnná v_m znamená střední rychlost průtoku v uvažované vertikále. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, zvolíme jiný průměr průtoku nebo použijeme kolektor s regulačním ventilem.
- 5) Současně s odebráním kalibračního vzorku ze zákalové sondy se zjistí hladina. Tento krok se opakuje každých třicet minut až do integračního vzorkování.
- 6) Zvolená rychlost spouštění musí odpovídat rychlosti zvedání a musí být pro všechny svislice v tomto profilu, což má za následek různé množství vzorků v jednotlivých vertikálních polohách. To je způsobeno izokinetickou extrakcí.
- 7) Odběr vzorků na jednotlivých vertikálách se měří pomocí stopek a zaznamenávají se hodnoty sondy v okamžiku odebrání.
- 8) Z jednotlivých vzorků se určí koncentrace suspendovaných látek pro každou kolmici. Za účelem stanovení průměrné koncentrace suspendovaných látek provedeme vážený průměr příslušnou průtokovou rychlostí pro celý příčný profil.

Všechny vzorky jsou teoreticky "nality dohromady" a z nich je stanovena střední koncentrace suspendovaných látek. Toto rozdělení distribuce hmotnosti je nezbytné, aby bylo možné správně znázornit koncentrace, které se vzhledem k různým rychlostem proudění liší od dopravy suspendovaných látek v celém příčném profilu. Jednoduché aritmetické zprůměrování koncentrací kolmých měření by dostatečně nezohledňovalo rozložení rychlosti v příčném profilu.

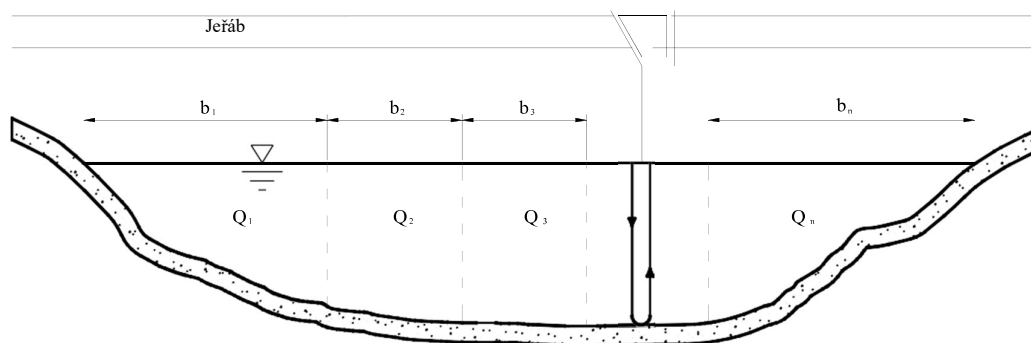
Jako alternativu ke "konceptuálnímu získání" vzorků z jednotlivých kolmých částí mohou být také fyzicky kombinovány, aby se snížil počet vzorků. Je třeba vzít na vědomí, že vzhledem k hluboké integraci již provedených vzorků dochází k integraci mezi svislými křivkami a tím se ztratí jakákoliv možnost stanovení rozdílů koncentrace v příčném profilu. Aby bylo možné během odběru rozpoznat takzvané odlehlé hodnoty, doporučuje se pro každou vertikální dávku naplnit samostatně jednotlivé lahve vzorků a vizuálně zkontrolovat po odběru vzorků všechny vertikály, zda se některé lahve významně liší od ostatních. Pokud se jedná o tento případ, měl by být vzorek příslušných kolmic zopakován a sdružení provedeno po porovnání vzorku.

Varianta 2 (s měřením průtoků)

- 1) Pro odběr použijeme izokinetický sběrač vhodný pro integrační vzorkování.
- 2) Omočený obvod příslušného průřezu je rozdělen na nejméně 10 úseků stejné velikosti (zaokrouhlení šířky pro snadnější rozdělení).
- 3) Umístění měřicího zařízení do středů dříve definovaných šířek úseků.
- 4) Určíme průměrnou rychlost proudění v_m pro každou měřenou část
- 5) Chceme-li zjistit přípustnou rychlost spouštění kolektoru v drážkách měřicího dílu, vybereme ty kolmice, jejichž průměrná rychlost průtoku a hloubka vody jsou největší. V tomto stádiu je třeba zvolit požadovanou rychlost spouštění tak, aby na jedné straně nedocházelo k úplnému naplnění lahve vzorku během plnění a na druhé straně vyhovuje zvolené rychlosti stavu $v_s < 0,4 \cdot v_m$, kde v_s je rychlost spouštění a zvedání a v_m střední rychlost průtoku v uvažované vertikální linii. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, měl by být zvolen jiný průměr pro vstup nebo kolektor s regulací ventilů.
- 6) Současně s odebráním kalibračního vzorku ze sondy zákalu se určí hladina vody a indikace sondy, které se zaznamenají v protokolu pod časovou indikací. Tento krok opakujeme v 30 minutovém intervalu až do konce integračního vzorkování
- 7) Odběr vzorků jednotlivých vertikál se zaznamenává současným zapsáním doby odebírání, časy odběrů získáme pomocí stopek a zapíšeme hodnotu sondy v okamžiku odebírání ze zobrazovací jednotky.
- 8) Pro určení přepravy suspendovaných látek vynásobíme integrovanou koncentraci střední rychlostí průtoku.

5.5.2.2 Provedení integračního vzorkování sedimentu pomocí metody „Equal-Discharge-Increment“

V metodě EDI se část řečeného vodního toku dělí na části se stejným průtokem (Obrázek 10). Vzorky jsou odebírány ve svislých liniích, které procházejí středy těchto oblastí. Rychlost spouštění a zvedání kolektoru je možné zvolit zvlášť pro každou kolmou hodnotu. Předpokladem pro použitelnost metody je znalost průtokového chování v průřezu. Nicméně je zapotřebí méně konstrukcí na měření (mezi 4 – 9, což je méně než u metody EWI, která byla popsána v předchozí kapitole a to zkracuje dobu sběru a hodnocení).

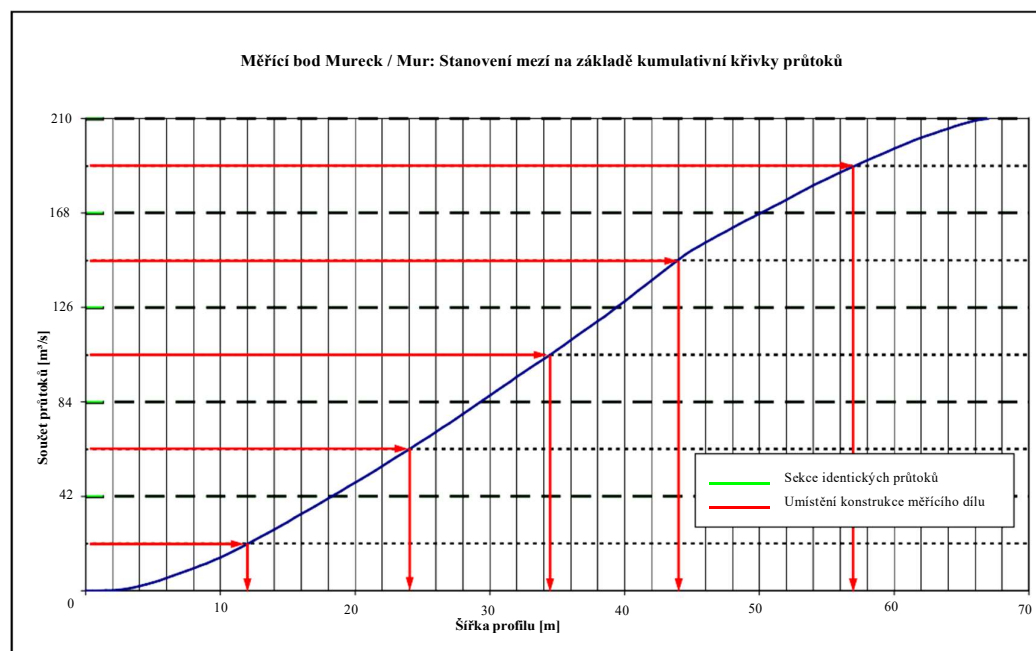


Obrázek 10: Znáznornění integrační extrakce podle metody „Equal – Discharge – Increment“

Postup:

- 1) Pro odběr použijeme izokinetický sběrač vhodný pro integrační vzorkování.
- 2) Rozdělíme omočený obvod průřezu na 4 – 9 částí ($b_1 - b_n$) se stejným průtokem. Stanovení těchto úseků se jednoduše provede díky bezprostředně předcházejícímu měření průtoku (ADCP atd.), nebo alternativně na základě předchozích měření průtoku při srovnatelných průtokových rychlostech nebo hladinách vody. Konkrétní průtoky musí být nepřetržitě sčítány přes zvlněnou šířku, aby se vytvořila kumulativní křivka a rozdělila se do sekcí b podle postupu měření. Souhrnná křivka by měla být použita k umístění integrace přes střednici oblasti příslušných úseků (viz. Obrázek 11).
- 3) Současně s odebíráním kalibračního vzorku ze sondy zákalu se zaznamenávají hladina vody a signalizace sondy v protokolu. Tento krok se opakuje každých 30 minut až do konce integračního vzorkování.
- 4) Zvolená rychlost spouštění musí odpovídat rychlosti zvedání a nemusí být zachována pro všechny měřicí linie. V každém případě se objemy vzorků pohybují od 0,5 l – 1 l. Toho lze dosáhnout přizpůsobením rychlostí spouštění a zvedání u jednotlivých vertikál.
- 5) Odběr vzorků jednotlivých vertikál probíhá při současném zjištění doby odběru, doby odběru pomocí stopek a hodnoty sondy v okamžiku odebírání, které získáme ze čtení zobrazovací jednotky.
- 6) Stanovení střední koncentrace suspendovaných pevných látek se provádí aritmetickým průměrem koncentrací suspendovaných látek jednotlivých vertikál.

- 7) Je-li množství vzorku jednotlivých svislých kusů přibližně stejné, může být provedeno fyzické spojení vzorků. Informace o prostorovém rozdělení koncentrací jsou však ztraceny.



Obrázek 11: Stanovení rozložení konstrukcí měření na základě křivky sčítání průtoků

5.5.3 ADCP s odběrem vzorků

Vzhledem k tomu, že provedení a laboratorní vyhodnocení vícebodové extrakce trvá hodně času, lze provést alternativně měření ADCP v kombinaci s výrazně sníženým počtem vzorků (až po 70 % snížení počtu vzorků po optimalizaci ve srovnání s normálním vícebodovým vzorkováním), čímž může být distribuce rozptýlených látek rychlejší. Oblast použití měřicího zařízení ADCP závisí především na typu použitého zařízení. Po dalších šetřeních lze očekávat další optimalizace.

Postup je následující:

- 1) Pro stanovení průtoku pomocí ADCP musí být provedeny nejméně čtyři zkušební cykly, jejichž výsledky mohou mít maximální odchylku 5 % od průměru.
- 2) Souběžně s odebráním kalibračního vzorku ze sondy zákalu musí být v protokolu uvedena hladina vody a indikace sondy.
- 3) Počet a určení rozložení měření se provede pro první odběr vzorků stejným způsobem jako u odběru vzorků s více body a poté se optimalizuje podle měřicího bodu.
- 4) Stanovení vzorkovacích bodů na kolmici (obvykle 3 – 5 vzorkovacích bodů v identických relativních hloubkách) je analogické s výběrem více bodů, přičemž jsou stanoveny z hladiny vody.

- 5) Současně s odebráním kalibračního vzorku ze sondy zákalu se zaznamenávají indikace a hladina vody v protokolu podle časové specifikace. Tento krok se opakuje každých 30 minut až do dokončení integračního vzorkování.
- 6) Z měření ADCP nebo kolektoru určíme hloubku vody ve vertikálních polohách. Při použití kolektoru musí být odchylka v hloubce stanovena odpovídajícím způsobem.
- 7) Pro odběr použijeme izokinetický sběrač vhodný pro vzorkování integrovaného v bodě.
- 8) Odebrání suspendovaných látek se provádí na určených místech odběru vzorků. Délka trvání extrakce se stanoví pomocí stopek. Láhve na vzorky by se neměly plnit, ale neměly by obsahovat méně než polovinu možného množství vzorku. Doba odběru, doba odběru vzorků a čísla vzorků musí být zaznamenána v protokolu.
- 9) Označení lahví vzorků obsahuje název místa měření, číslo vzorku a datum odběru vzorků.

5.5.4 Porovnání různých postupů

Aby bylo možné porovnávat výhody a nevýhody různých metod, stejně jako jejich oblasti použití, jsou tyto údaje porovnány v Tabulka 2. Zde uváděné hodnoty mají být chápány jako směrnice, které musí být pro každý měřicí bod optimalizovány zkouškami.

Tabulka 2: Porovnání metod určení prostorové distribuce koncentrace suspendovaných látek v průřezu

Proces Kriterium	Multipoint	EWI	EDI	ADCP
Čas	Vysoký	Střední	Střední	Střední
Dodatečný Měření rychlosti proudění	ano	ano/ne	ne	ne
Počet vertikál	5-10	>10	4-9	1-4*
Počet vzorků na šarži	3-5	1	1	3-5*
Rychlostní rozsah	<4 m/s	<1,5 m/s	<1,5 m/s	<2,5-4 m/s (v závislosti na zařízení a nosiči zařízení)
Extrakční zařízení s regulací ventilů	ano	ne	ne	ano
Přesnost	Vysoký	Střední	Střední	Vysoký

ZÁVĚR

Sedimenty mají neblahý vliv na celkové chování toku a nádrží. Ovlivněn je i jejich potenciál, kdy se mohou ve vodě vyskytovat zdraví škodlivé látky. Vlivem antropogenní činnosti není příroda schopná sama odbourat dané látky, kdy jejich koncentrace už dosahují moc vysokých čísel. Tato práce měla poskytnout přehled a příručku, jak koncentrace suspendovaných látek měřit. Současně poskytuje základní znalosti, pro další práci na projektech, které se v budoucnu mohou objevit. Práce vychází z překladu příručky rakouských kolegů v rámci programu SEDECO – sedimenty a ekosystémové služby ve vzájemném působení s povodněmi a suchem v pohraniční oblasti AT – CZ. V dohledné době se začne s reálným měřením, kdy naměřená data budou sloužit jako podklady pro naše lepší porozumění sedimentů, jejich vlivu a chování, abychom byli schopni je efektivně odbourávat, zabránovat jejich vytvoření a tím zajistit kvalitnější vodní toky a nádrže. Vzhledem k tomu, že voda je nedocenitelná, měli bychom s ní tak nakládat a z toho vyplývá, abychom se více starali o její kvalitu. Bez vody nebude život.

„Vodu neoceníme, dokud nám nevyschne studna.“

Benjamin Franklin

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZACHOVAL, Zbyněk. *Splaveniny ve vodních tocích: Modul 1*. Brno, 2016.
- [2] HABERSACK, Helmut, Marlene HAIMANN, Willibald KERSCHBAUMSTEINER a Petra LALK. *Schwebstoffe im Fließgewässer: Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes*. Wien, 2008.
- [3] WALL, Gary R., Elizabeth A. NYSTROM a Simon LITTEN. Use of an ADCP to Compute Suspended– Sediment Discharge in the Tidal Hudson River, New York. *Scientific Investigations Report* [online]. 2008, 2006, **2006**(5055), 26 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/sir/2006/5055/pdf/SIR2006-5055.pdf>
- [4] WIESE, Jürgen. Entwicklung von Strategien für einen integrierten Betrieb von SBR-Kläranlagen mit Mischkanalisationen. In: *Technische Universität Kaiserslautern* [online]. Düsseldorf, 2004 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=i&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK Ewjdp7qg4PraAhXCL1AKHWRYCBIQjhx6BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fdocpl ayer.org%2F70183252-Entwicklung-von-strategien-fuer-einen-integrierten-betrieb-von-sbr-klaeranlagen-mit-mischkanalisationen.html&psig=AOvVaw3_g7kOIRP28XE3qkljQ9j1&ust=1526028217706700

SEZNAM POJMŮ A ZKRATEK

Č.	Pojem	Značka	Jednotka	Definice
1	Bioznečištění			Růst řasového filmu, který se nachází u snímače nebo se přímo udělá na optice a tím simuluje vyšší koncentraci suspendovaných látek.
2	Eroze			Proces oddělování pevných látek mechanickým působením vody, ledu, sněhu nebo větru.
3	Pevné látky			Splaveniny, plaveniny.
4	Nános			Nános je lokální zvýšená koncentrace usazenin v korytě a v inundačním území.
5	Integrační vzorkování			Rozdělení průtočného profilu do několika kolmých sekcí a extrakce v dané hloubce pomocí jednoduchého zařízení. Alternativa je zařízení s řízeným odběrem pomocí ventilu.
6	Izokinetický			Rovnost rychlosti a rychlosti průtoku během odběru vzorků.
7	Kalibrační vzorek (referenční vzorek)	s_k	mg/l	Pro kalibrační účely se odebere suspendovaná látka.
8	Aktuální vzorek			Vzorek suspendovaného materiálu, který se odebere během několika sekund.
9	Koeficient příčného profilu	$k_P = s_m/s_k$		Kvociet průměrné koncentrace suspendované látky v průřezu (s_m) podělený koncentrací kalibračního vzorku (s_k)
10	Suspenze			Pevné látky suspendované ve vodě ve víceméně stejnoměrné distribuci v důsledku turbulence.

Č.	Pojem	Značka	Jednotka	Definice
11	Půdní eroze		kg/km ² t/km ²	Podíl suspendované hmoty a plochy přidruženého povodí.
12	Suspendovaná hmota (doprava)	Q_s	kg/s	Poměr hmotnosti suspendované látky přepravované průtokovým průřezem, zvážený v suchém stavu, a doba přepravy.
13	Plaveniny	V_s $V_{s,M}$	m ³ t, kg	Objem suspendovaných částic během daného časového období (např. 1 rok) $V_{s,M}=V_s \cdot \rho_r$ ρ_r = hustota
14	Obsah suspenze (koncentrace)	s_o	g/m ³ mg/l	Podíl hmotnosti suspendované látky obsažené ve vzorku vody, zváženého v suchém stavu, a objem vzorku.
15	Obsah suspenze pevných látek, průměr v průřezu.	s_m	mg/l	Průměrná koncentrace suspendovaných látek v příčném profile, určená z více bodů nebo integrace nebo alternativních metod.
16	Vzorek suspendované látky			Vzorek směsi vody a nerozpuštěných pevných látek pro stanovení koncentrace a/ nebo distribuci zrn
17	Bodově integrovaný vzorek suspendovaných látek			Vzorek sediment, který se po určitou dobu kontinuálně odebírá v určitém místě ve vodě.
18	Suspenze sedimentu	Q_{si}	g/(m*s)	Přepočteno na 1 m
19	Plávi			Pevné látky plovoucí na hladině s výjimkou ledu
20	Sedimentace			Proces usazování pevných látek přepravovaných vodou.
21	Záznam sondy	s_s	mg/l	Pozorovaná koncentrace pevných látek je indikována a zaznamenávána senzorem zákalu.
22	Hodnota sondy	$k_s = (s_k/s_s)$		Kvociet koncentrace suspendovaných látek, podíl kalibračního vzorku a koncentrace suspendované látky na senzoru zákalu (s_s).

Č.	Pojem	Značka	Jednotka	Definice
23	Zákal	[FAU] [FNU] [FTU]		Snížení průhlednosti kapaliny způsobené přítomností nerozpuštěných látek.
24	Vzorkování Multi-point			Klasifikace průtokového průřezu analogickým měřením průtoků v několika vertikálách a extrakce vzorků zařízením v různých předem stanovených hloubkách. Současné určení rychlostí proudění ve vzorkovacích bodech,

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Variabilita koncentrace suspendovaných látek v prostoru a čase	8
Obrázek 2: Sonda zákalu připevněná ke člunu vlevo a vzorkovací zařízení připevněno vpravo	12
Obrázek 3: Konstrukce kolejnice pro Solitax ts – line	17
Obrázek 4: Skládací konstrukce pro Solitax ts – line	17
Obrázek 5: Znečištění sondy	19
Obrázek 6: Sonda v chrániče	19
Obrázek 7: Sonda v chrániče	19
Obrázek 8: Reprezentace vícebodové extrakce ve čtyřech hloubkových krocích	21
Obrázek 9: Znázornění integrační extrakce podle metody "Equal-Width-Increment" ...	23
Obrázek 10: Znázornění integrační extrakce podle metody „Equal – Discharge – Increment“	25
Obrázek 11: Stanovení rozložení konstrukcí měření na základě křivky sčítání průtoků	26

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Strategie měření pro základní měřicí body (implementováno v Rakousku).	15
Tabulka 2: Porovnání metod určení prostorové distribuce koncentrace suspendovaných látek v průřezu.....	27

6 SUMMARY

Sediments have inauspicious impact on whole behavior of rivers and reservoirs. Affected is also their potential because inside the water can be found harmful material to the health. Due to anthropogenic activity nature can't deal with pollution which reach extensively high concentration. This thesis should provide overview and guide, how to measure concentration of suspended material. At the same time provides basic knowledge for future work on projects. Thesis is based on translation of guide Austrian's colleagues under the terms of project SEDECO – Sediments, ecosystem services and interrelation with floods and droughts in the AT – CZ border region financed through INTERREG AT – CZ. In near future will begin measurement and gained data will serve as base for our better understanding of sediments, their impact on behavior. We need to find effective ways how to deal with sediments. This allow ensure higher quality of rivers and ponds. Water is highly valued and we have to take care about it's quality. Without water there is no life.

„When the well is dry, we know the worth of water“

Benjamin Franklin